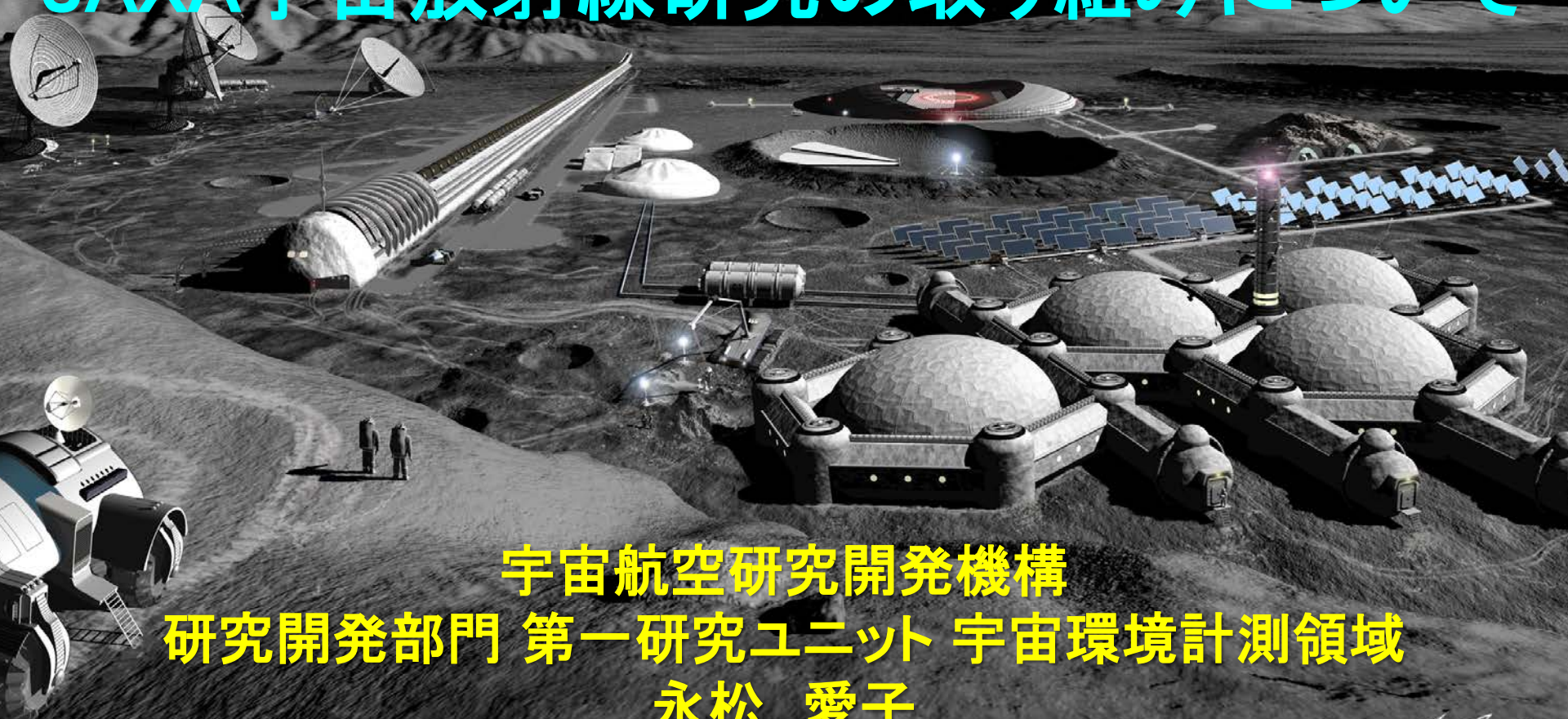


第15回宇宙天気ユーザーズフォーラム 2020年11月11日(水)

国際宇宙探査(月・火星探査)に向けた JAXA宇宙放射線研究の取り組みについて



宇宙航空研究開発機構

研究開発部門 第一研究ユニット 宇宙環境計測領域
永松 愛子

Art by [signature]

JAXA研究開発部門 1U 宇宙環境計測領域(放射線、デブリ等)の役割

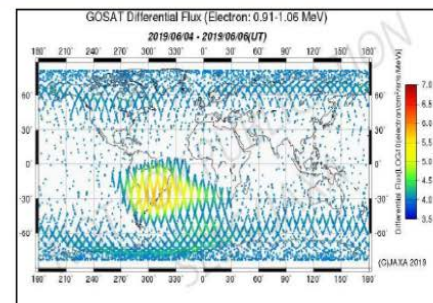
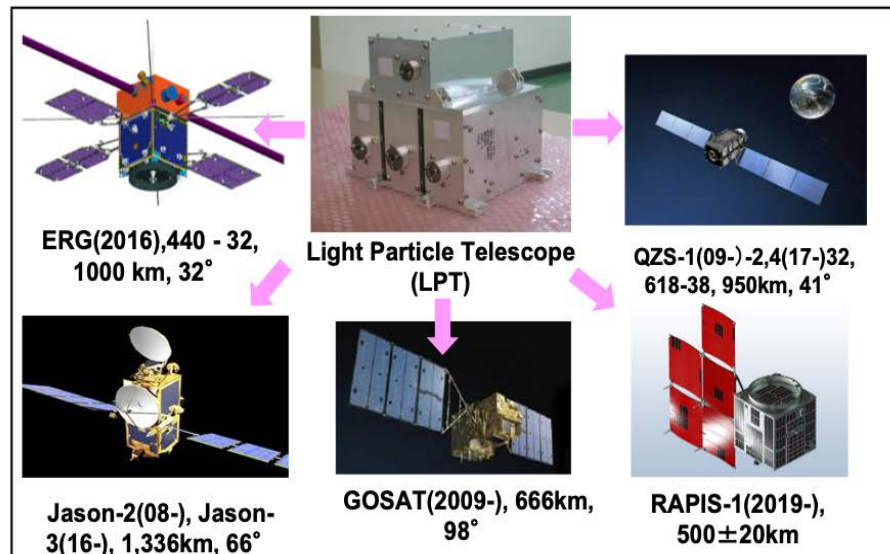
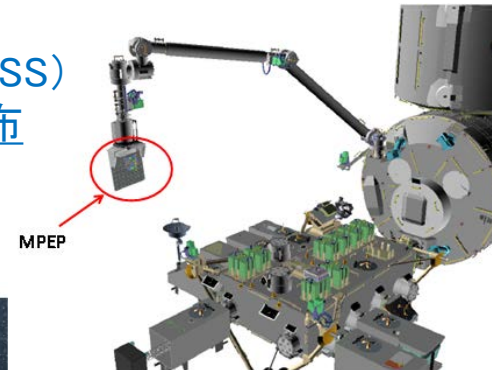
宇宙放射線、帯電、磁場、デブリ等の宇宙環境を計測するセンサ・機器開発・搭載・運用・解析を行うグループ

- 低地球軌道から静止軌道を飛行する人工衛星に搭載する計測器
- 国際宇宙探査にむけた探査機(月・火星)に搭載する計測器
- ISS「きぼう」船内・船外の被ばく線量解析やシミュレーション
- 軌道上解析データのモデル化やデータベース運用

環境把握(衛星用、モデル検証)
エネルギーフラックス

- LPT(Light Particle Telescope)
- XEP-e
- HIT (Heavy Ion Telescope)

環境モニタ・個人被ばく線量(ISS)
吸収線量、線量当量、LET分布
•PADLES 受動積算型線量計
•PS-TEPC能動型モニタ



宇宙放射線計測の結果(地磁気圏内のデータベース)

1. ISS宇宙放射線環境計測データベース (PADLES DB)

国際宇宙ステーションのJAXAの宇宙放射線計測結果(吸収線量、線量当量、LET分布)を掲載。



PADLES	学会発表 メディア対応	PADLES 文庫一覧	アルバム	リンク
--------	----------------	----------------	------	-----

サイドメニュー

- PADLESフライトスケジュール/計測結果
- ライフサイエンス宇宙実験のための受動積算型宇宙放射線計測技術
- 国際宇宙ステーションの軌道の宇宙放射線
- 日本の宇宙放射線計測技術
- 宇宙放射線計測の歴史

「きぼう」を支える有人技術

日本の実験棟モジュール内の宇宙放射線計測 PADLES

スペース・シャトルや国際宇宙ステーションが飛行する地上から400km前後の高度では、銀河宇宙線などのエネルギーが非常に高い粒子がいつも降り注いでいます。宇宙船の船壁や遮へい材によって、ある程度の宇宙放射線を遮ることはできますが、高いエネルギーの放射線はスペースシャトルや国際宇宙ステーションの船体をも突き抜けてきます。そのため、飛行中の宇宙飛行士や生物試料は、宇宙放射線による被ばくを避けることができません。

スペース・シャトルや国際宇宙ステーション船内の宇宙放射線環境は、搭載時期や遮へい条件によって大きく変化します。宇宙における生物の放射線影響を解明したり、人間が長期にわたって宇宙に滞在するためのリスク評価を行うためには、

「宇宙環境において、実際に宇宙放射線を計測する」ことが必要です。軌道上で実施されるライフサイエンス宇宙実験では、生物試料に対する宇宙放射線影響を定量的に解明するには、生物学的指標(生物影響)と照らし合わせる物理的な環境(ラメータのひとつとして、正確な宇宙放射線の被ばく量を把握することが重要です。

JAXA有人宇宙技術センターでは、ライフサイエンス宇宙実験のための受動積算型宇宙放射線計測技術を開発し、2008年から「きぼう」日本実験棟の船内において、宇宙放射線計測を開始しました。

リンク先: PADLES: ライフサイエンス宇宙実験のための受動積算型宇宙放射線計測技術
<http://iss.jaxa.jp/kibo/kibomefc/srpd/srpd14.html>

関連リンク

- 放射線と地球の旅
The Radiation Odyssey
- 科研費
AKAHITI
- 宇宙に生きる
- 太陽地球圏
環境予測

PADLESとは



2. 宇宙環境計測情報システム (SEES)

人工衛星(低地球軌道～静止トランスファー軌道)に搭載した放射線吸収線量モニタ、重イオン観測装置の計測結果(エネルギーフラックス等)。



Space Environment & Effects System
宇宙環境計測情報システム

新規ユーザ登録はこちら


- トップページ
- Information
- 利用規約
- SEESについて
- 装置概要
- 搭載宇宙機
- 計測データ
- 解析結果
- 実験施設
- 成果リスト
- 登録ユーザ
- 用語・略語
- ご意見・ご要望
- 関連サイト
- 各種申請

SEESトップページ

Information

システム停止のお知らせ (update 2019/5/16)
以下の期間、メンテナンスの為システムを停止させていただきます。
ご利用の皆様にはご迷惑をおかけしますが、ご了承ください。

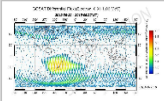
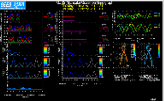
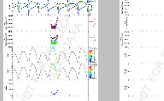
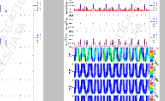
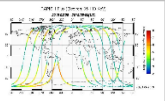
2019年5月24日(金) 16:00 ~ 2019年5月28日(火) 11:00 (JST)

衛星軌道情報提供機能のサービス終了について (update 2019/2/1)
衛星軌道情報提供機能(スライダ表示機能、世界地図上表示機能)はOracle社のJava アプレットサポート終了に伴い、2019年1月にサービスを終了いたしました。
多くの方にご利用いただきまして、誠にありがとうございました。
サービス終了に伴い、皆様にご迷惑をおかけいたしますことを深くお詫言申し上げます。

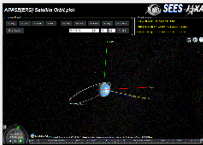
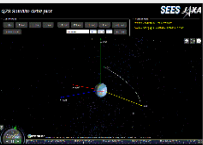
SEES提供機能

- 計測データ
- 警報メールシステム
- 宇宙環境 / 衛星環境モデル解析ツール

リアルタイムグラフ

GOSAT	QZSS	ERG	JASON-2	JASON-3	RAPIS-1
					

2次元軌道表示

ERG	QZSS
	

JAXAが開発した宇宙環境監視衛星



ADEOS



ADEOS-II



MDS-1



QZSS 運用中



ALOS



ETS-VI



ETS-V

静止トランスファー軌道
(高度250~40,000km)



ETS-VII



GOSAT 運用中

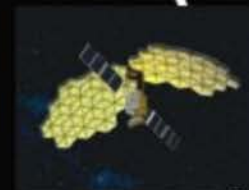


ERG 運用中

楕円軌道
(高度300~33,200km)



DRTS



ETS-VIII



BBND



ISS (JEM)

円軌道(高度600km以下)

太陽同期準回帰軌道
(高度600~900km)



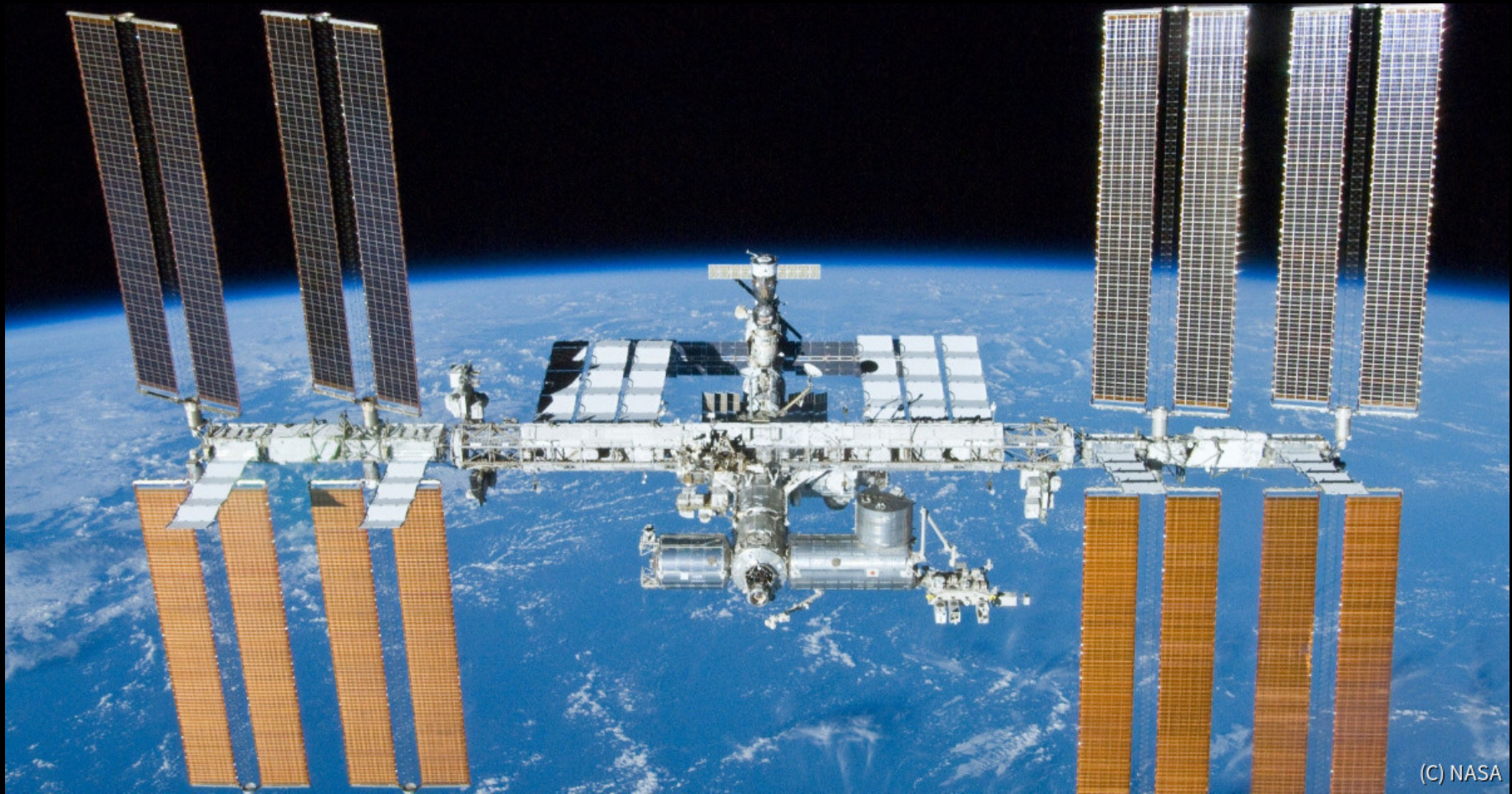
Jason-2,3 (CNES)
運用中

準回帰軌道
(高度1,336km)

静止軌道
(高度36,000km)

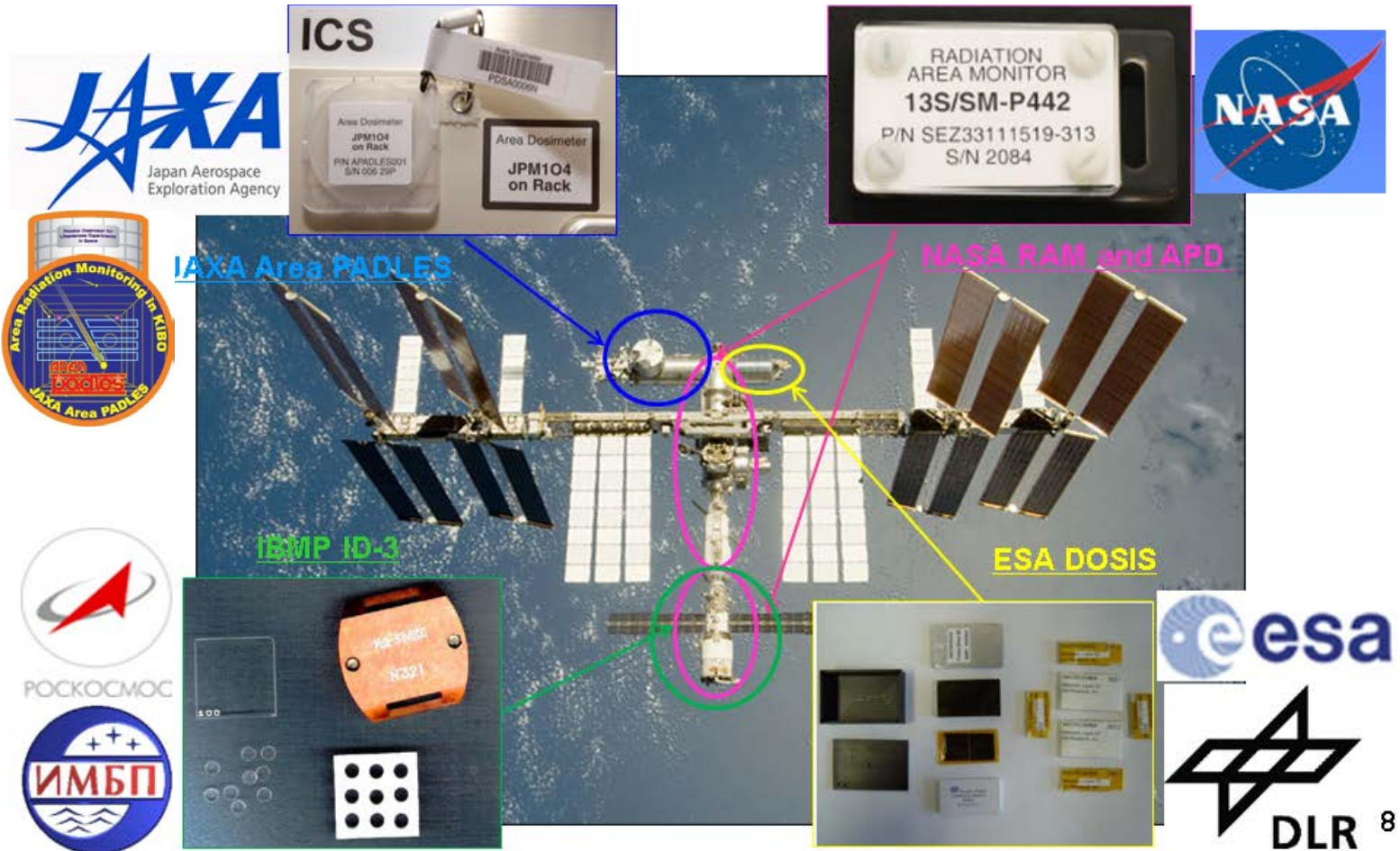
円軌道(高度400km)

9か国16機関が参加する国際宇宙ステーション



2009年7月に日本の宇宙実験棟が完成、昨年で「きぼう」10周年を迎えた

ISSパートナーによる各モジュールの宇宙放射線のエリアモニタリング



各国の宇宙放射線担当
 —線量計測
 —シミュレーション
 —リスク(生物影響)
 —被ばく管理



低地球軌道(国際宇宙ステーション、スペースシャトル)の線量計ラインナップ

受動型

能動型

400個

環境
評価用

500個

1. Area PADLES*

「きぼう」船内の半年毎の継続的な線量評価を実施中。2010年からROSCOSMOSとの研究協力によりソユーズによる打上・回収を継続実施。被ばく管理に関する国際会議において、各宇宙機関との定期的な結果共有および国際協力実験に貢献。本結果をもとに被ばく線量シミュレーションモデルを構築し、地磁気圏外放射線環境評価に適用。

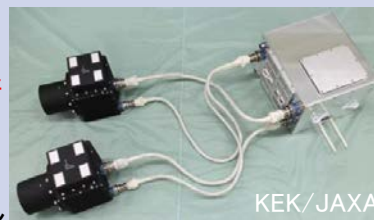
2. Bio PADLES

「きぼう」に搭載される生物試料の被ばく線量の測定を行う。



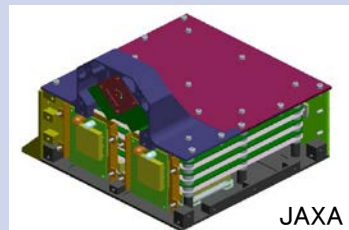
4. PS-TEPC(船内計測)

「きぼう」2期利用後期公募テーマ(代表研究者:高エネルギー加速器研究機構 佐々木慎一教授)。センサー部に人体等価ガスを封入しており、人体へ入射する荷電粒子および二次粒子である中性子の3次元飛跡をイベント毎に測定し、LETを高精度に検出できる検出器。2016年12月から2018年4月まで稼働。



5. RRMD-5(船内計測)

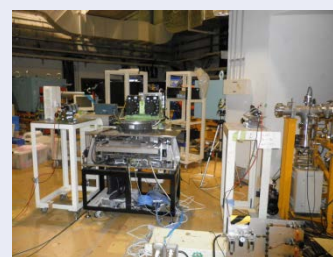
シャトル/ミール実験(STS-79、STS-84、STS-89、STS-91)で搭載実績あり。「セレーネ2」の利用機器として提案・搭載検討を進めた検出器。3枚のSi検出器を持つセンサー部に荷電粒子の飛跡通過位置および飛跡長を計測し、LETを高精度に計測できる検出器。



6. BBND船内中性子計測)

7. D-Space (ポータブルアラームメータ)

産業技術総合研究所が開発した福島個人用モニタリングサービスを宇宙線量用に応用目的。ISS宇宙飛行士のポータブルアクティブ個人線量計として共同研究中。軌道上でクルーが何度でも確認可能。



産総研/千代田テクノル

NASA SLS-1(OMOTENASAHI
ミッションに搭載予定)

3. Crew PADLES*

2007年から、アジア人宇宙飛行士の被ばく線量計測機器として搭載。2015年11月現在までに、アジア国際協力の一環として、ANGKASA(マレーシア)、KARI(韓国)宇宙飛行士(計2名)および日本人宇宙飛行士(計8名)の個人線量計測を実施(合計13名)。

13個

個人用

* PADLESおよびRRMDは、宇宙機関が参加する、宇宙放射線の線種・エネルギーを模擬した重粒子照射による宇宙放射線検出器の国際相互比較実験において、もっとも精度の高い線量計との評価を受けた実績あり(Benton et.al, 2004)。この他、JAXAはBBNDのシャトル/ISS USモジュールの搭載実績あり。

宇宙と地上の自然放射線環境(外部被ばく)の比較

A. Nagamatsu, Radiation
Detectors and Their Uses,
KEK Proc.008-14,167-
177(2009)

	地上	宇宙環境(ISS)
線源	天然放射性同位元素 二次宇宙線	一次宇宙線 (太陽粒子線、銀河宇宙線、地磁気捕捉陽子線) 二次宇宙線 (陽子線、重荷電粒子線、中性子線など)
粒子	γ 線、ミュオン、中性子線など (γ 線のエネルギーはMeV程度)	- 電子、陽子から鉄核までの重荷電粒子、中性子 - エネルギー範囲の上限は$\sim 10\text{GeV/n}$を超える - 被ばく線量に寄与するLET分布は、$0.2\text{keV}/\mu\text{m} \sim$ 数百$\text{keV}/\mu\text{m}$の広範囲にわたる
線質係数	γ 線:1 中性子線:5 $\sim$ 20	1 $\sim$ 30
線量率	地上のバックグラウンド線量 $1.5\mu\text{Gy/day}$	過去ISS「きぼう」モジュール内(太陽活動第23 $\sim$ 24期)の JAXA Area PADLES 船内測定結果より $220 \sim 542\mu\text{Gy/day}$

1. 宇宙放射線は、生物影響が高い高LET放射線を多く含む。
(宇宙環境専用の線量計・シミュレーション・遮蔽防護が必要)
2. 360度あらゆる方向からに入射する(検出器開発への課題)
3. 地上に比べて線量率が数百倍大きい
(宇宙飛行士の線量限度の設定と被ばく管理が必要)

低軌道活動～国際宇宙探査へ

March 12, 2019
国際宇宙探査シンポジウム資料

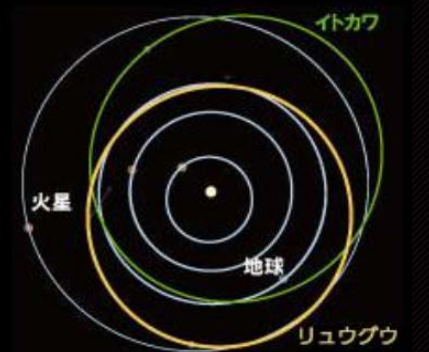


国際宇宙ステーション 地上から350-500km

月 38万km

はやぶさ2が到着したリュウグウ(地球と火星の間) 2億8000万km

火星 7834万km(近地点)～3億7753万km(遠地点)

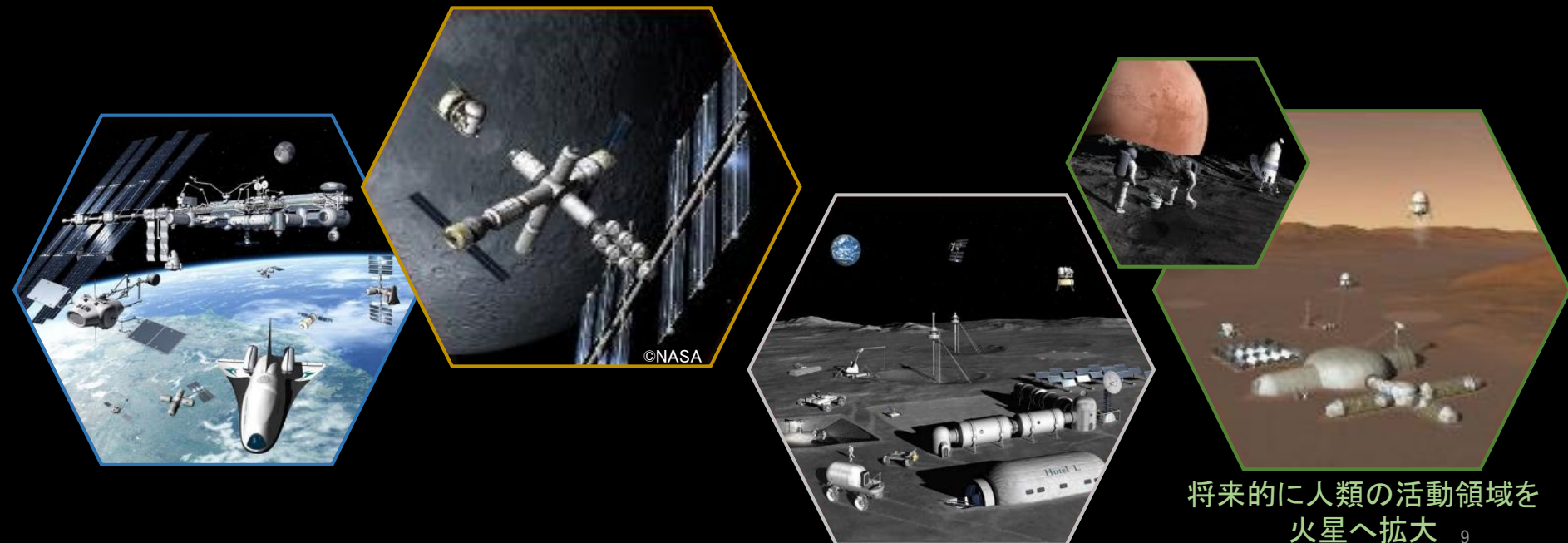


地球低軌道を
経済活動の場へ

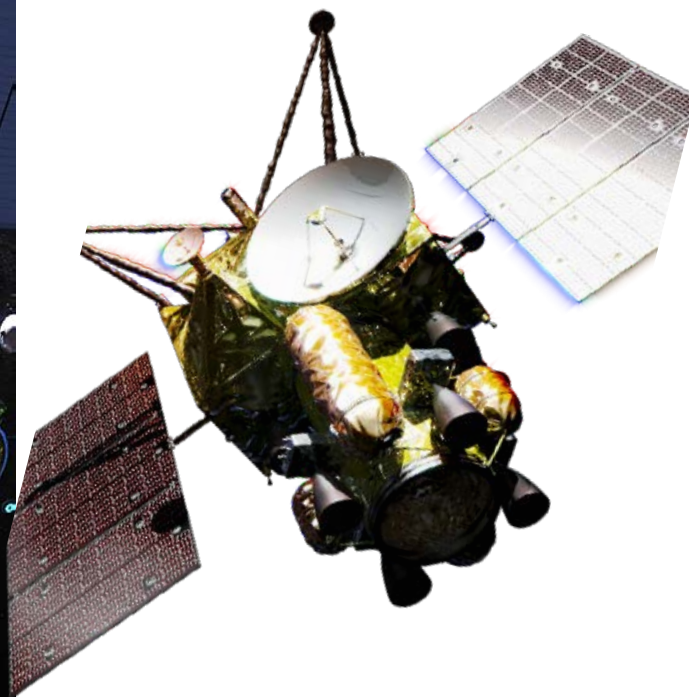
月近傍拠点により
月面へのアクセスを
効率的に

月面を科学探査
等の多様な活動の
場へ

火星衛星を中心とした
科学探査の推進と
火星へのアクセス拠点化



将来的に人類の活動領域を
火星へ拡大 9

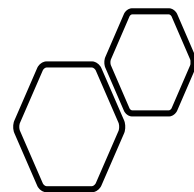


TOYOTA自動車との共同研究による
LUNAR CRUISER

火星衛星探査計画 (MMX)

NASAアルテミス計画月周回有人拠点
(Gateway)

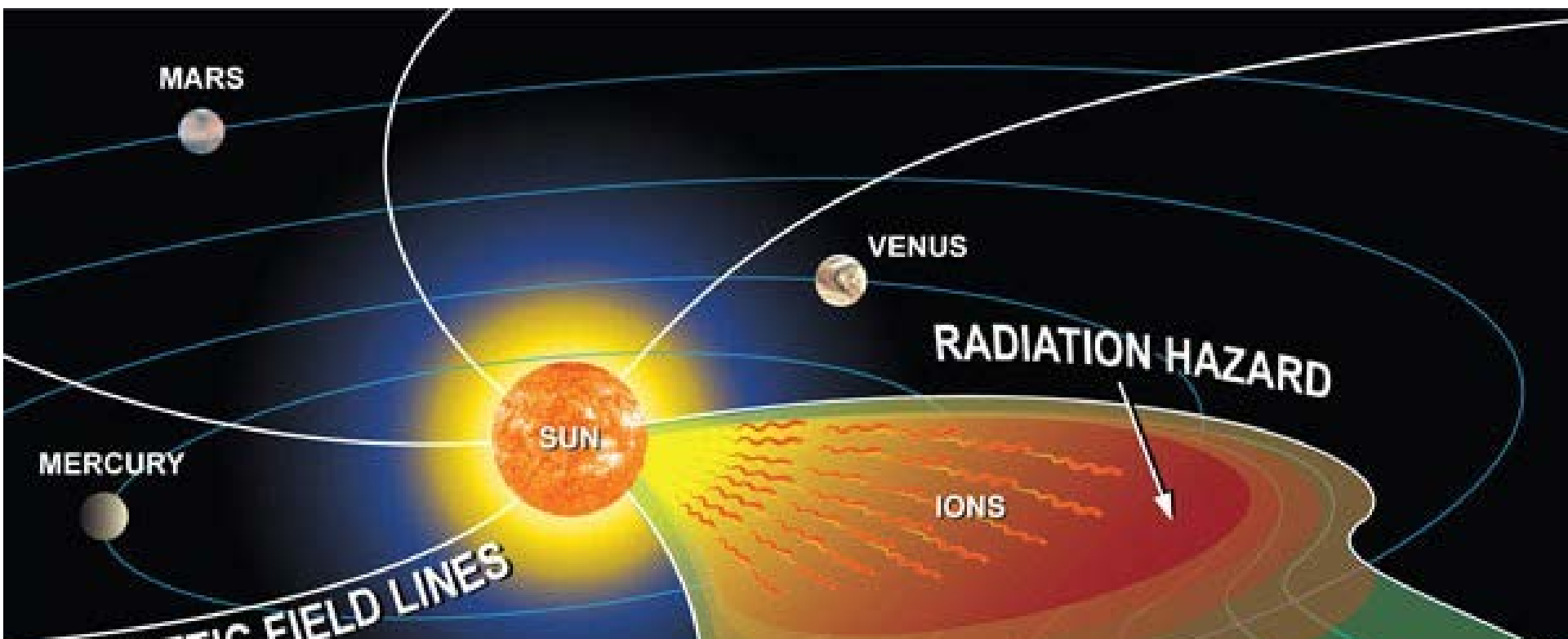
NASAのアルテミス計画の一環である月周回有人拠点 (Gateway) は、月面及び火星に向けた中継基地として、米国の提案のもと、ISSに参加する宇宙機関から構成された作業チームで概念検討が進められている。2023年に推進モジュールおよびHALO居住モジュールを打上げ予定。



有人滞在のための放射線計測 × 宇宙天気・放射線物理

月(地球から38万km)・火星(火星 7834万km(近地点)の宇宙放射線環境

太陽粒子線と銀河宇宙線の1次線源があり、これらが船壁や搭載物質を通過して船内へ入射する。さらに、**太陽フレアに伴う高エネルギー粒子 (SEP: Solar Energetic Particles)**のスペクトルの形状や強度により、宇宙飛行士への被ばく線量が大きく変化する。



月面：地磁気がない。

1. 月面に直接降り注ぐ銀河宇宙線(GCR)と太陽粒子線(SEP)
2. 太陽活動や**太陽フレア**の影響を直接受ける。
3. 月表層物質(レゴリス)と宇宙線との相互作用により、月面に発生する二次中性子やガンマ線

探査ミッションの健康リスクファクタ

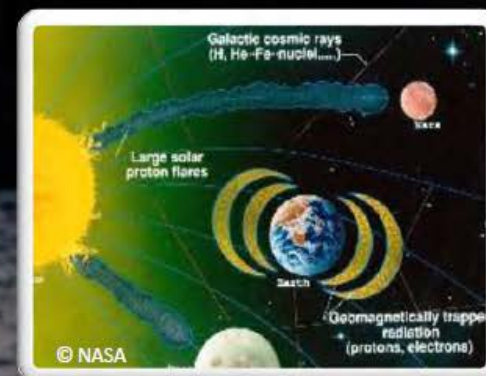
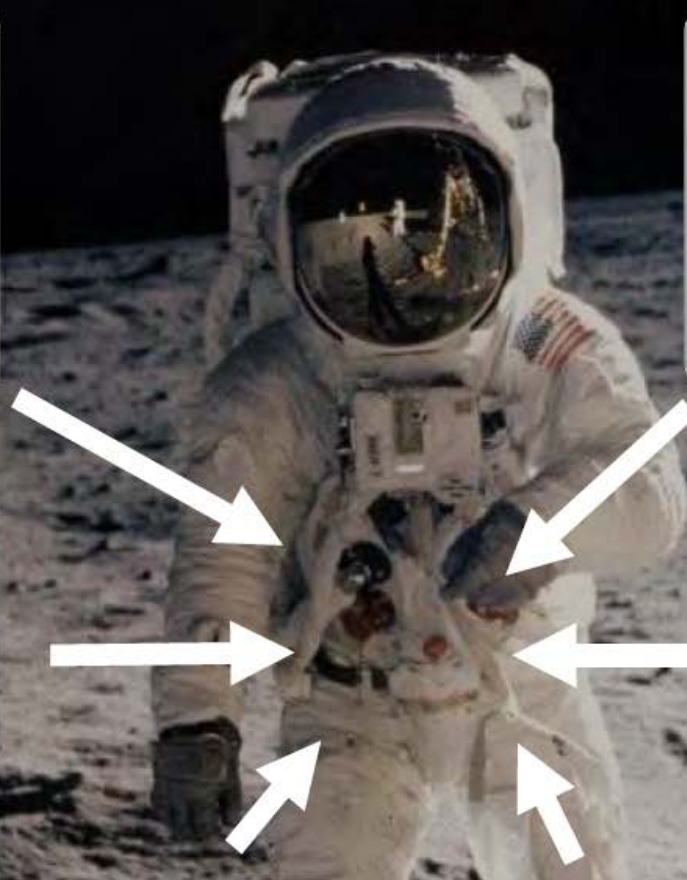
2019年1月16日
将来有人宇宙活動に向けた宇宙医学／健康管理技術研究開発 キックオフ



重力再適応



超長期宇宙滞在
(閉鎖・隔離環境、微小重力)



宇宙放射線被ばく



地球からの距離

- ・省スペース
- ・無補給
- ・通信遅延



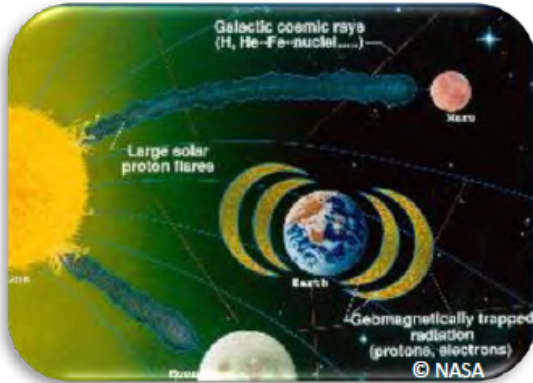
粉塵 (月面ダスト)



砂・砂嵐 (火星)

宇宙放射線被ばく×超長期宇宙滞在

2019年1月16日
将来有人宇宙活動に向けた宇宙医学／健康管理技術研究開発 キックオフ



×



白内障

月（1年）
リスク 2X3

火星（3年）
リスク 3X3

- 白内障発症/進行、視力低下、活動制限
 - 検査 自律した白内障検査
 - 治療 発症した場合の治療方法（眼内レンズ交換）

長期低線量被ばく影響

月（1年）
リスク 1X4

火星（3年）
リスク 3X4

- がん死亡リスク増加、白内障、微生物変異
 - モニター 実効線量評価（長寿命なアクティブモニター）
火星周囲および航行中の宇宙環境観測
 - 予防対策 被ばく影響の低減策
物理的に被ばく量を低減させるための遮蔽技術
消毒・滅菌・洗浄技術（微生物変異対策）

放射線急性障害

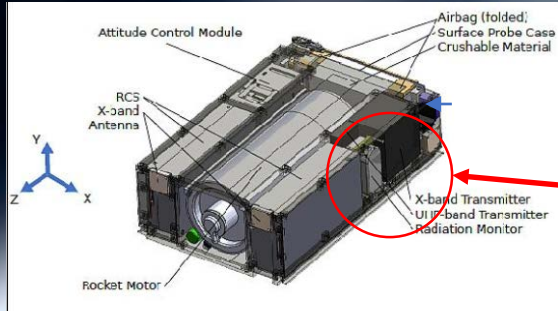
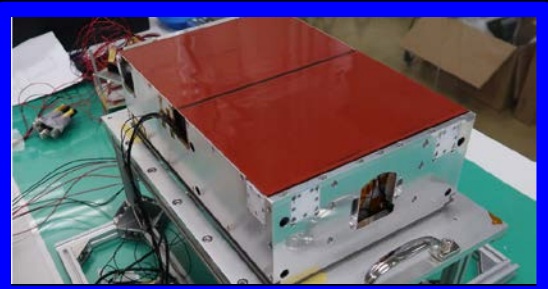
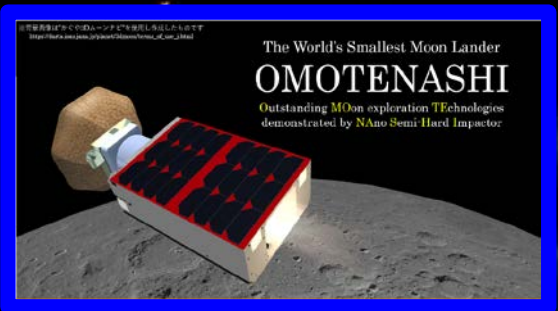
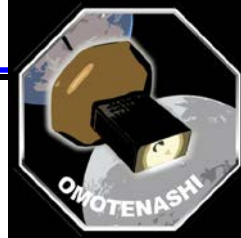
月（1年）
リスク 2X2

火星（3年）
リスク 2X2

- 皮膚損傷、血液障害、不妊
 - モニター 組織等価線量評価（自律的、長寿命なアクティブモニター）
火星周囲および航行中の宇宙環境観測
 - 予防対策 物理的に被ばく量を低減させるための遮蔽技術
 - 治療 急性放射線障害治療

OMOTENASHI NASA SLS (Space Launch System) EM-1 搭載ミッション

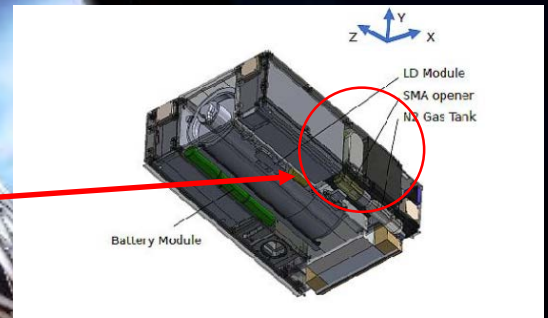
ピギーバッグ衛星OMOTENASHIは、2021年以降に打ち上げ予定のCubeSat (質量14kg、6Uサイズ)。約1週間の周回飛行後に月面着陸を目指す。JAXA-産総研との共同研究により、月周回軌道の吸収線量 ($\mu\text{Gy}/\text{min}$) を測定。将来有人探査において、宇宙飛行士のミッションプロファイル (月遷移軌道及び月面) における宇宙放射線量の実測データを集積し、宇宙放射線防護研究に役立てる。



(a) OMOTENASHI detailed view (+Y face)



OMOTENASHI用D-Space



(b) OMOTENASHI detailed view (-Y face)

国際宇宙探査における宇宙放射線研究の取り組み

1. 宇宙飛行士(民間宇宙滞在者)の被ばく管理

2. 宇宙天気の予測と警報

SEPの変動に起因する火星オーロラの計測(～数MeV)、GCRの長期変動
モジュレーション(数10GeV以上)と多岐にわたる。



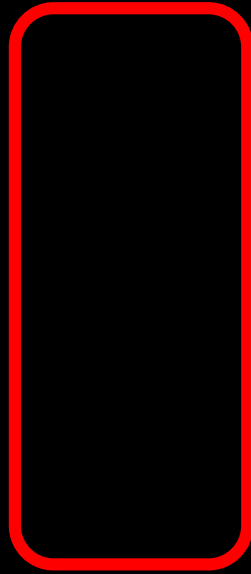
宇宙用に改修した30gの線量計D-Space(JAXA-産総研 共同研究)

TOYOTA自動車との共同研究による有人圧ローバーの開発

- ・全長×全幅×全高 6.0m×5.2m×3.8m(マイクロバス約2台分)
- ・居住空間13m³(4畳半ワンルーム程度)
- ・2名滞在可能(緊急時は4名滞在可能)

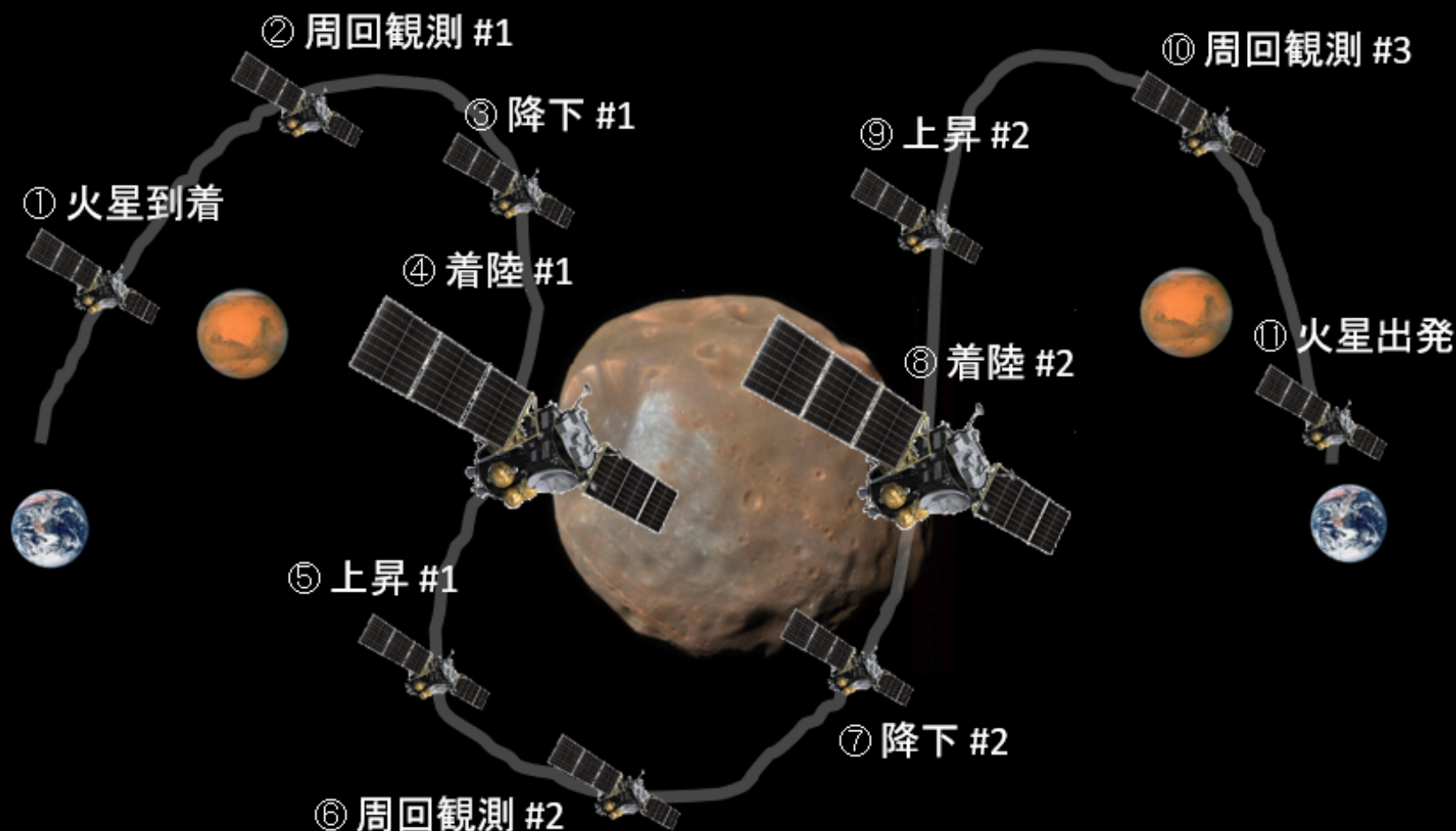
火星探査をめぐる各国の動向

March 12, 2019
国際宇宙探査シンポジウム資料



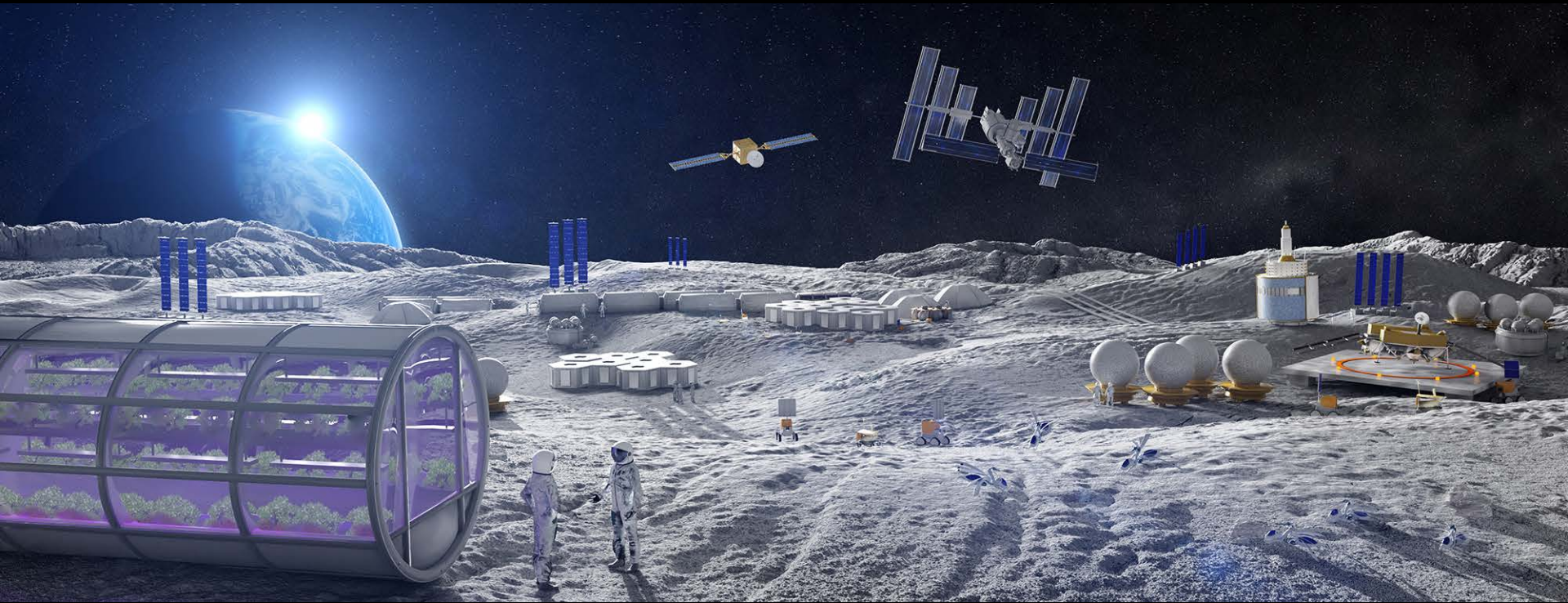
火星衛星探査計画(MMX)2024年打上げ予定

火星衛星近傍では、衛星観測、衛星表面への着地、サンプリング等を実施する。運用プロセスを想定して、必要な運用期間を見積った結果、火星衛星近傍での滞在期間を約3年としている。



火星衛星探査機プリプロジェクトチーム

宇宙放射線への対策として、計測、材料評価、遮蔽、退避およびシミュレーションモデル、宇宙天気と組み合わせた宇宙飛行士の放射線計測など、複数の技術を組み合わせて、国際宇宙探査における放射線影響の低減を目指します。



宇宙航空研究開発機構 研究開発部門 第一研究ユニット
宇宙環境計測領域